



МЧС РОССИИ

Санкт-Петербургский университет  
Государственной противопожарной службы  
Сибирская пожарно-спасательная академия

Кафедра физики, математики и информационных технологий

## Л Е К Ц И Я

по дисциплине «Электротехника и электроника»

по специальности 280104.65 «Пожарная безопасность»

**Тема № 1 «Электрический ток»**

**Занятие № 4 «Расчет цепей трехфазного гармонического тока»**

# Цель лекции

**Уяснить понятие трехфазных систем и их преимущества по сравнению с однофазными. Усвоить методику расчета цепей при соединении нагрузки «звездой»**

# Учебные вопросы

1. Трехфазные системы. Преимущества их использования.
2. Методика расчета цепей при соединении потребителей «звездой».

## Рекомендуемая литература

1. Немцов М.В. Электротехника и электроника: Учебник для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 616с.
2. Касаткин А.С. Электротехника: Учебник для вузов/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 8-е издание, испр. – М. Издательский центр «Академия», 2003. – 544с.

## **УЧЕБНЫЙ ВОПРОС №1**

**Трехфазные системы. Преимущества их использования**

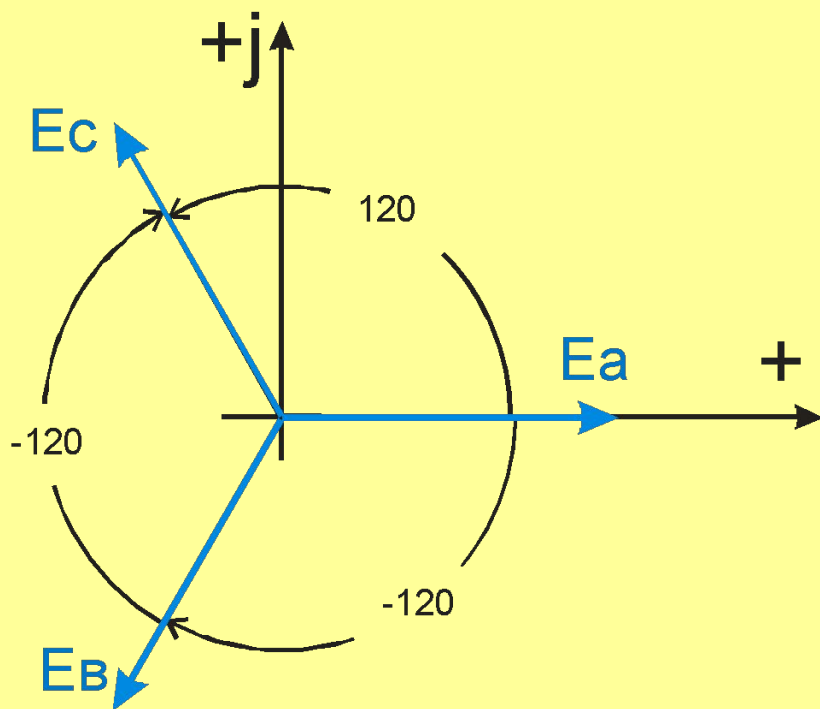
Трехфазной системой ЭДС называют совокупность 3-х однофазных, ЭДС которых равны модулю и сдвинуты относительно друг друга по фазе на  $120^\circ$

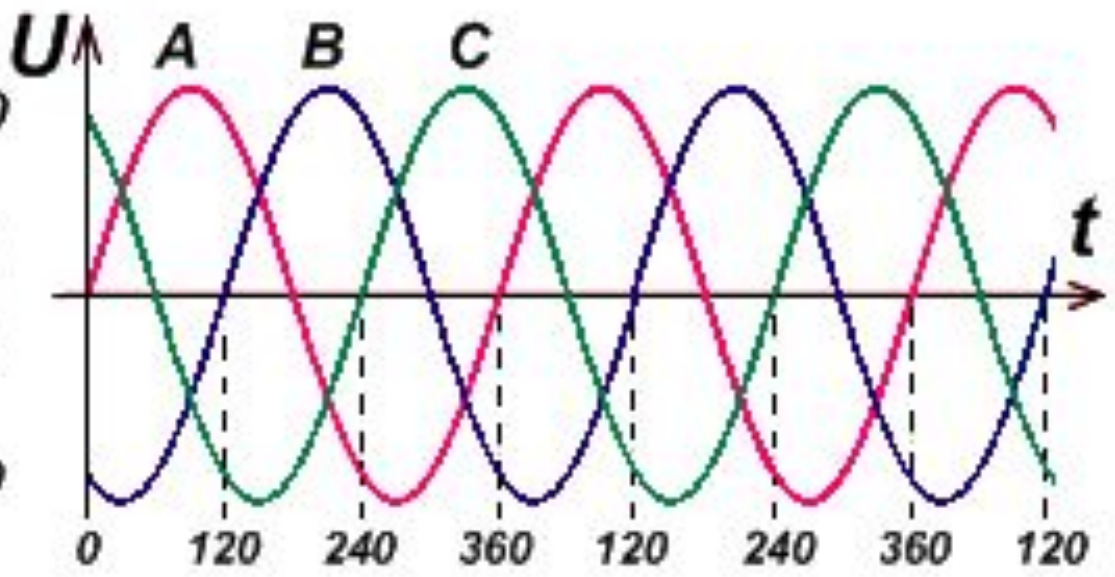
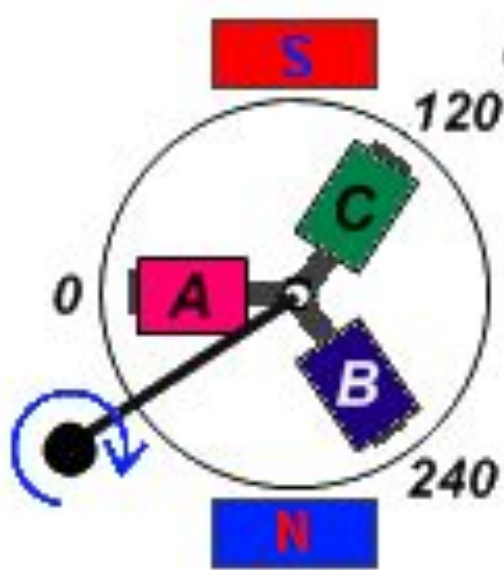
$$e_A = E_m \sin(\omega t);$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ);$$

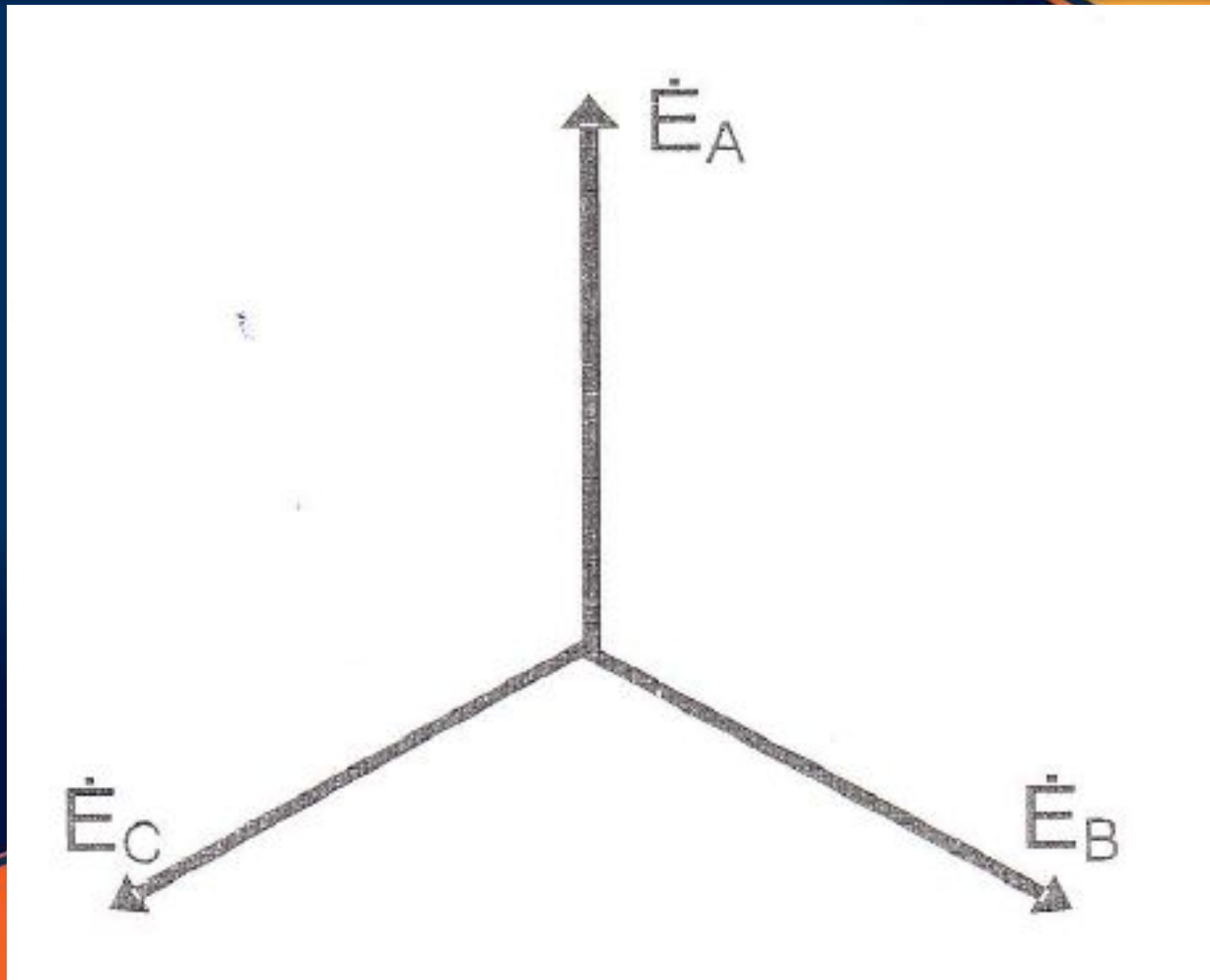
$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

## Векторная диаграмма



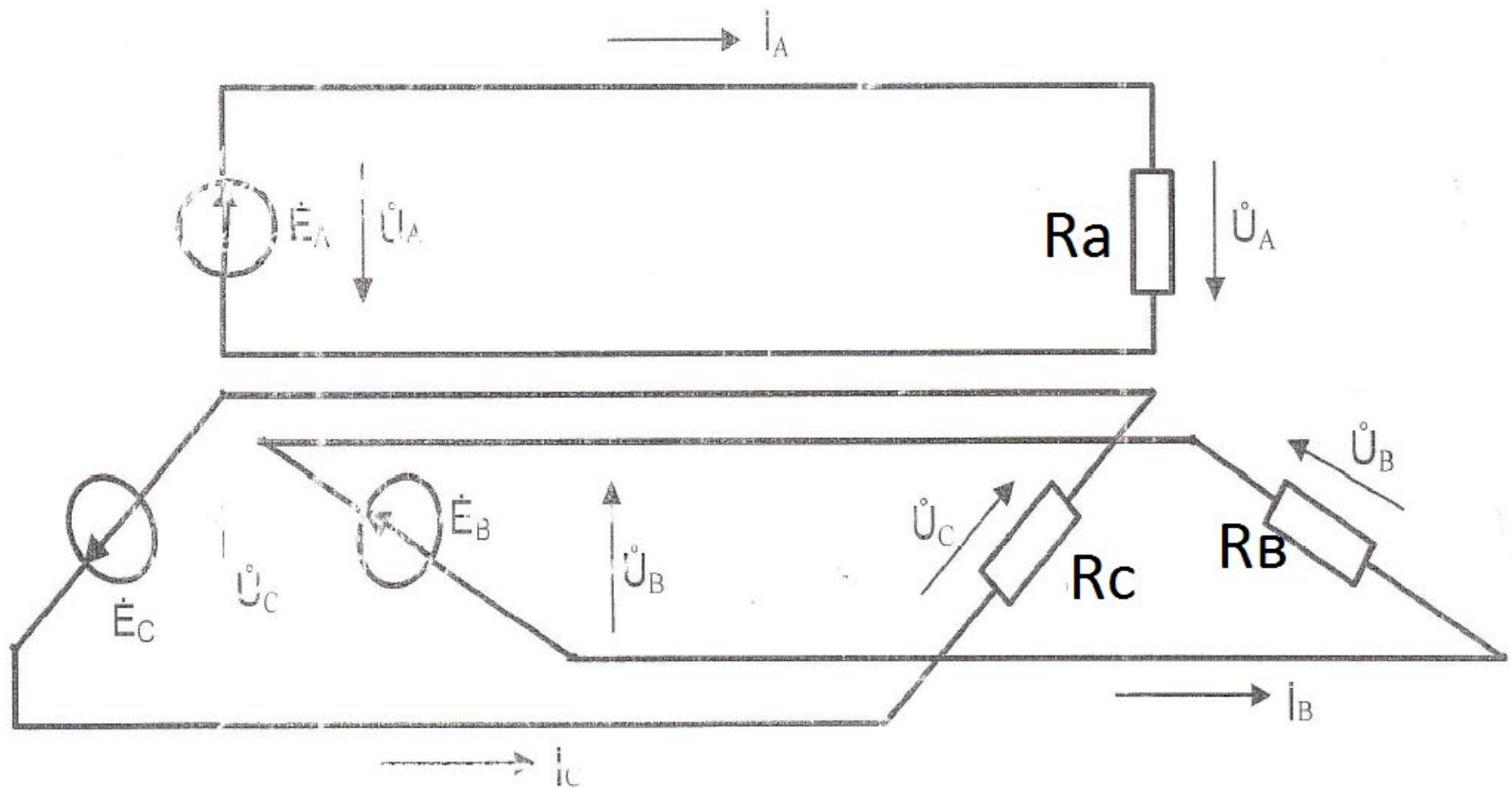


Векторную диаграмму обычно изображают без обозначения комплексной плоскости следующим образом





Трехфазные системы передачи электрической энергии: **Электрически не связанная трехфазная цепь**



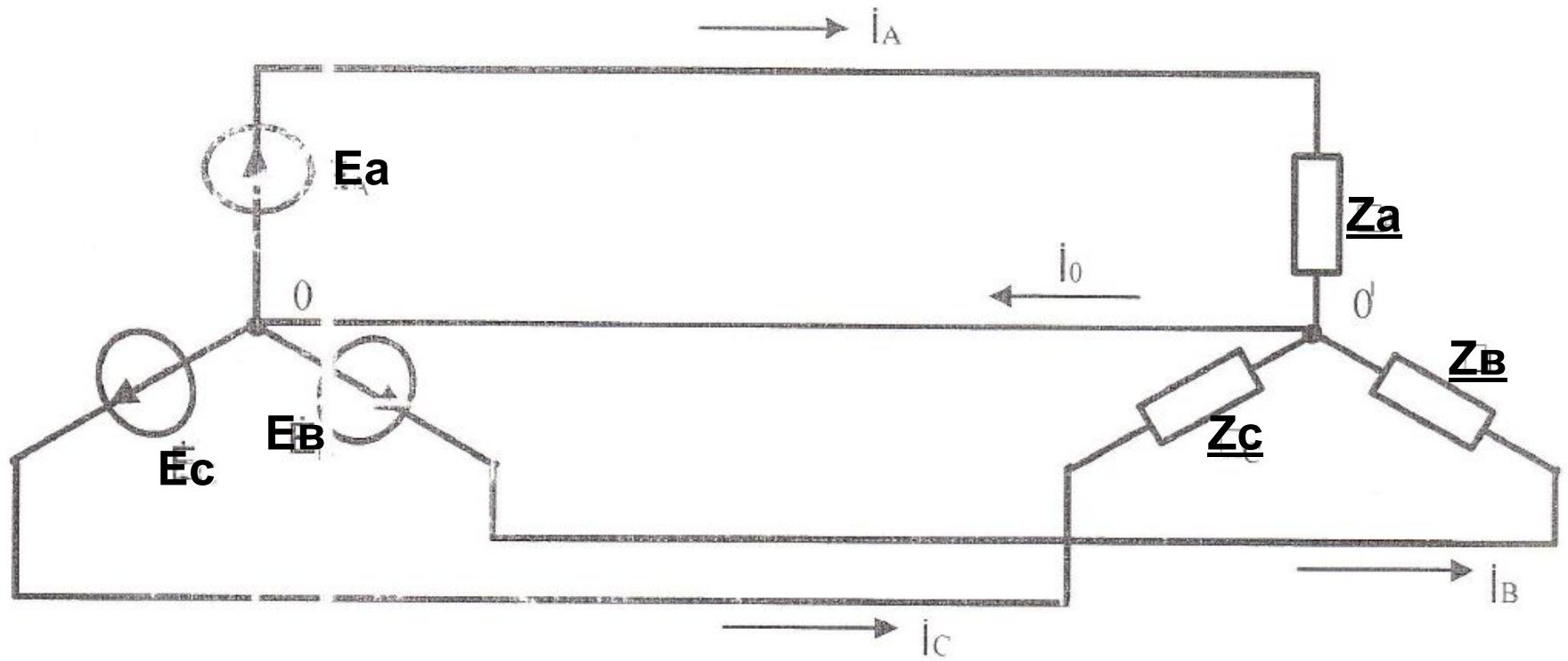
Если нагрузка симметрична (одинакова во всех фазах), то сумма токов

$$\dot{I}_A = \dot{I}_B = \dot{I}_C = 0$$



$$\frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_A} + \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_B} + \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_C} = \dot{I}_A + \dot{I}_A e^{-j120^\circ} + \dot{I}_A e^{+j120^\circ} = 0$$

Следовательно, если соединить концы обмоток генераторов в узел  $O$ , выводы приемников в узел  $O'$ , то сумма токов в узлах будет равна нулю и при симметричной нагрузке, обратные провода не нужны вообще



## **УЧЕБНЫЙ ВОПРОС №2**

**Методика расчета цепей при соединении потребителей «звездой»**

Дано: три потребителя:  $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$  с параметрами:

$$\underline{Z}_1 (R_1 = 4; X_{L1} = 6; X_{C1} = 3) (\text{Ом});$$

$$\underline{Z}_2 (R_2 = 3; X_{L2} = 2; X_{C2} = 2) (\text{Ом});$$

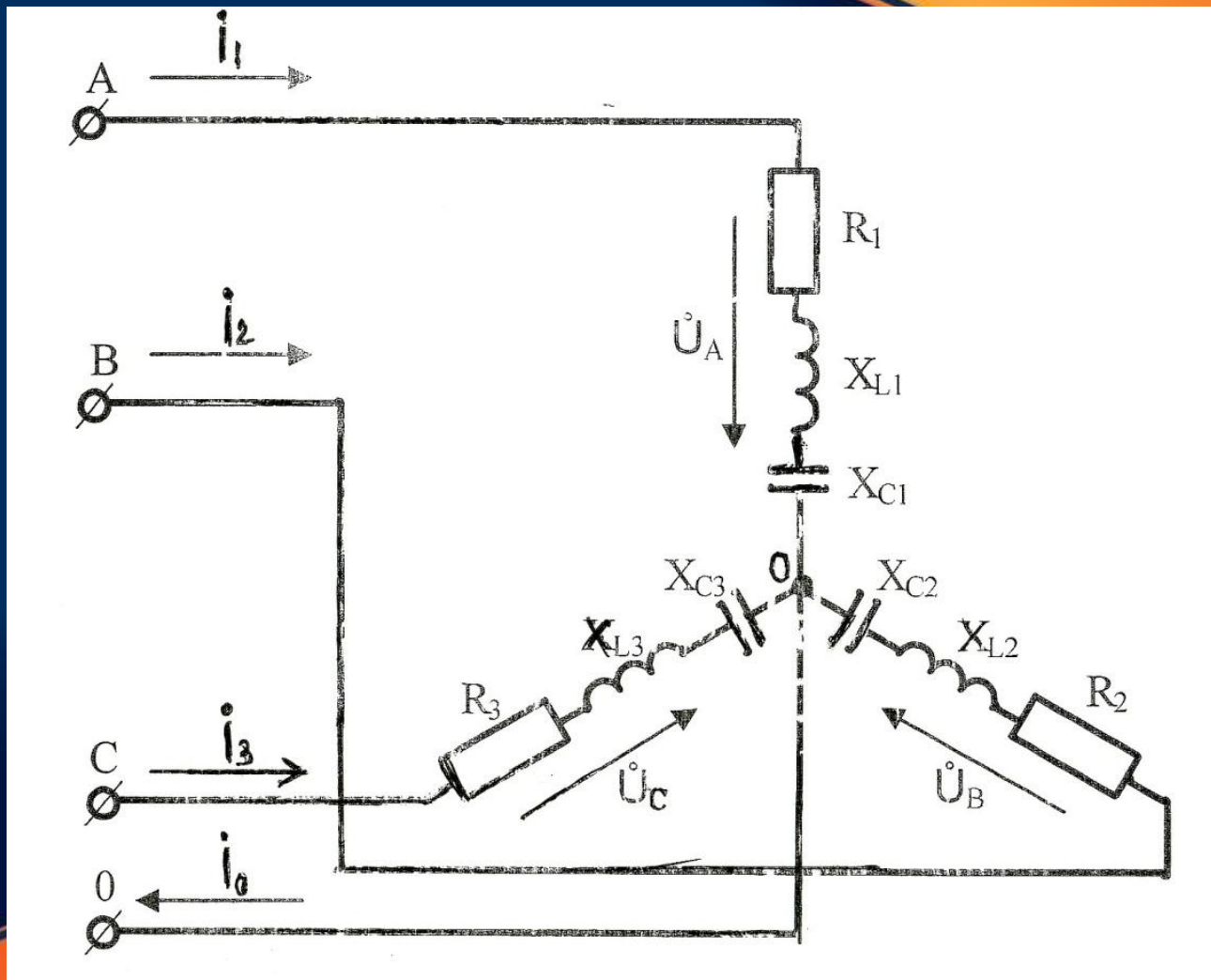
$$\underline{Z}_3 (R_3 = 5; X_{L3} = 3; X_{C3} = 5) (\text{Ом})$$

Включены в сеть трехфазного тока звездой с нулевым проводом. Линейное напряжение сети 380 В.

Требуется начертить схему включения потребителей и определить:

1. Фазные напряжения;
2. Линейные токи;
3. Ток в нулевом проводе;
4. Активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью;
5. Начертить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений.

# 1. По исходным данным представим схему



2. Определим комплексы фазных напряжений, принимая, что  $\dot{U}_A$  направлен по действительной оси. При соединении приемников «звездой» с нулевым проводом независимо от величины сопротивления фаз приемника величина (модуль) фазного напряжения меньше линейного:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}}$$



Таким образом, модуль фазного напряжения

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,732} = 219 \text{ В}$$

Так как  $\dot{U}_A$  направлено по действительной оси, то его фаза равна  $0^\circ$ , а фаза  $\dot{U}_B$  равна  $-120^\circ$  и фаза  $\dot{U}_C$  равна  $+120^\circ$ . Следовательно, фазные напряжения в комплексном выражении равны:

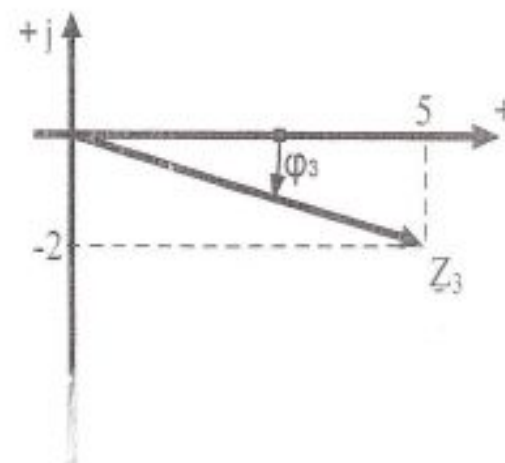
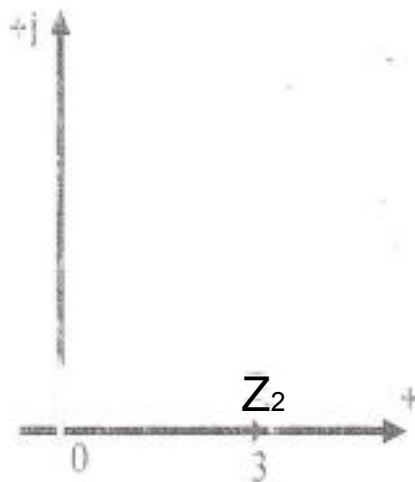
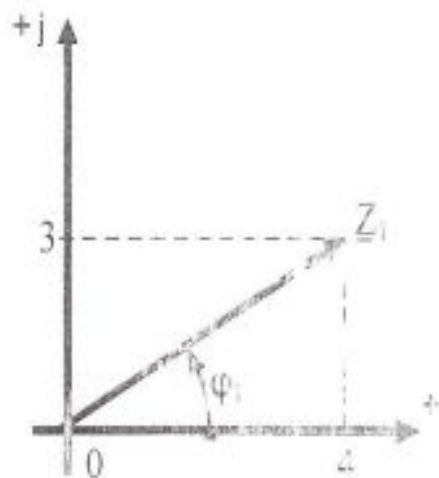
$$\dot{U}_A = 219e^{j0^\circ}; \dot{U}_B = 219e^{-j120^\circ}; \dot{U}_C = 219e^{j120^\circ}.$$

### 3. Определим комплексы фазных сопротивлений потребителей:

$$\underline{Z}_1 = 4 + j(6 - 3) = 4 + j3 \text{ (Ом)}$$

$$\underline{Z}_2 = 3 + j(2 - 2) = 3 \text{ (Ом)}$$

$$\underline{Z}_3 = 5 + j(3 - 5) = 5 - j2 \text{ (Ом)}$$



Для удобства вычислений токов, выразим комплексы фазных сопротивлений в показательной форме

$$\begin{aligned} |\underline{Z}_1| &= \sqrt{4^2 + 3^2} = 5, & \varphi_1 &= \arctg \frac{3}{4} = 37^\circ; \\ |\underline{Z}_2| &= 3, & \varphi_2 &= \arctg \frac{0}{3} = 0^\circ; \\ |\underline{Z}_3| &= \sqrt{5^2 + (-2)^2} = 5,4; & \varphi_3 &= \arctg \frac{-2}{5} = -22^\circ; \end{aligned}$$



$$\underline{Z}_1 = 5e^{j37^\circ}; \underline{Z}_2 = 3e^{j0^\circ}; \underline{Z}_3 = 5,4e^{-j22^\circ}$$

4. Определим фазные токи (они равны линейным при рассматриваемом соединении нагрузки  $\dot{I}_\Phi = \dot{I}_Л$ )

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_1} = \frac{219e^{j0^\circ}}{5e^{-j37^\circ}} = 43,8e^{-j37^\circ} \text{ (A)} \\ \dot{I}_B &= \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_2} = \frac{219e^{-j120^\circ}}{3e^{j0^\circ}} = 73e^{-j120^\circ} \text{ (A)} \\ \dot{I}_C &= \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_3} = \frac{219e^{j120^\circ}}{5,4e^{j22^\circ}} = 40,6e^{j142^\circ} \text{ (A)} \end{aligned}$$

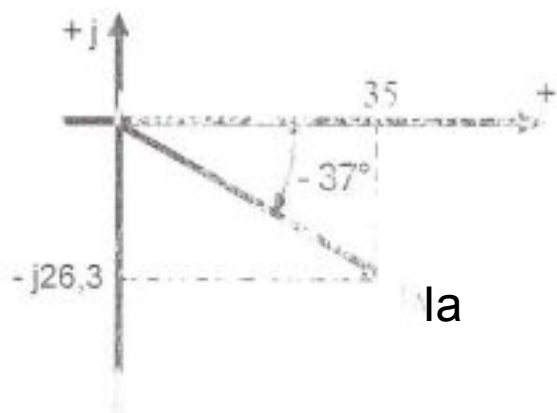
5. Находим ток в нулевом проводе по первому правилу Кирхгофа:  $\dot{I}_0 = \dot{I}_A = \dot{I}_B = \dot{I}_C$

Для удобства суммирования переведем комплексы токов в алгебраическую форму

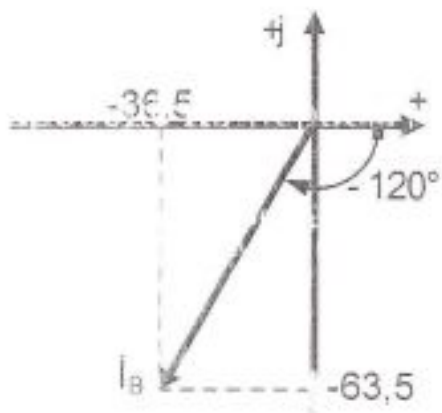
$$\dot{I}_A = 43,8[\cos(-37^\circ) + j\sin(-37^\circ)] = 43,8(0,8 - j0,6) \\ = 35 - j26,3 \text{ (A)};$$

$$\dot{I}_B = 73[\cos(-120^\circ) + j\sin(-120^\circ)] = 73(-0,5 - j0,87) \\ = 36,5 - j63,5 \text{ (A)}$$

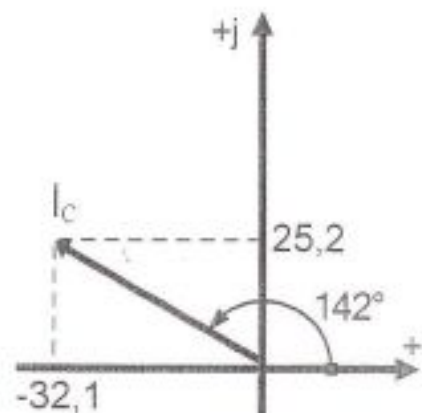
$$\dot{I}_C = 40,6[\cos(142^\circ) + j\sin(142^\circ)] = 40,6(-0,79 + j0,62) \\ = -32,1 + j25,2 \text{ (A)}$$



$\dot{I}_A$



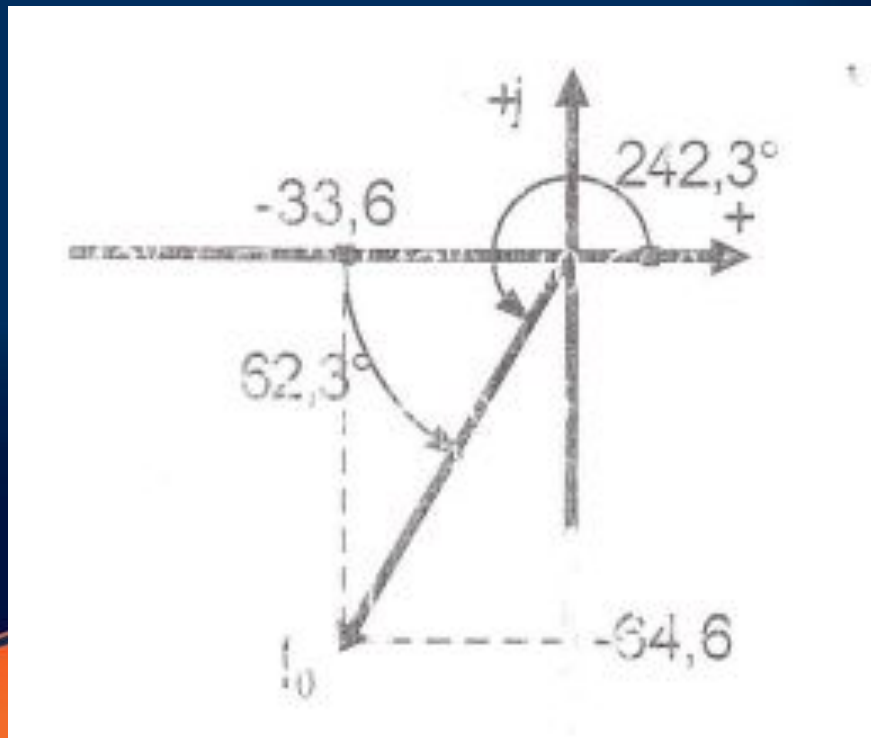
$\dot{I}_B$



$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= (35 - j26,3) + (-36,5 - j63,5) + (-32,1 - j25,2) \\ &= -33,6 - j64,6 \text{ (A)} \end{aligned}$$

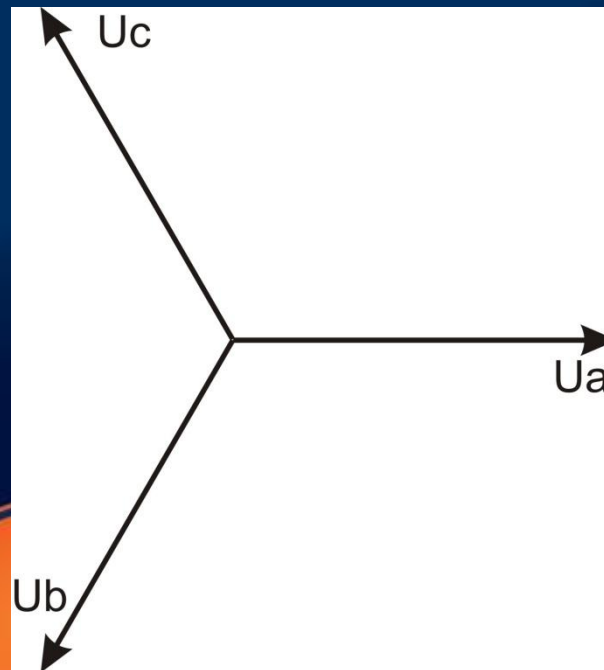
$$|\dot{I}_0| = \sqrt{(-33,6)^2 + (-64,6)^2} = 72,8 \text{ (A)}$$

$$\varphi = \arctg \frac{-33,6}{-64,6} = 62,3^\circ + 180^\circ = 242,3^\circ$$

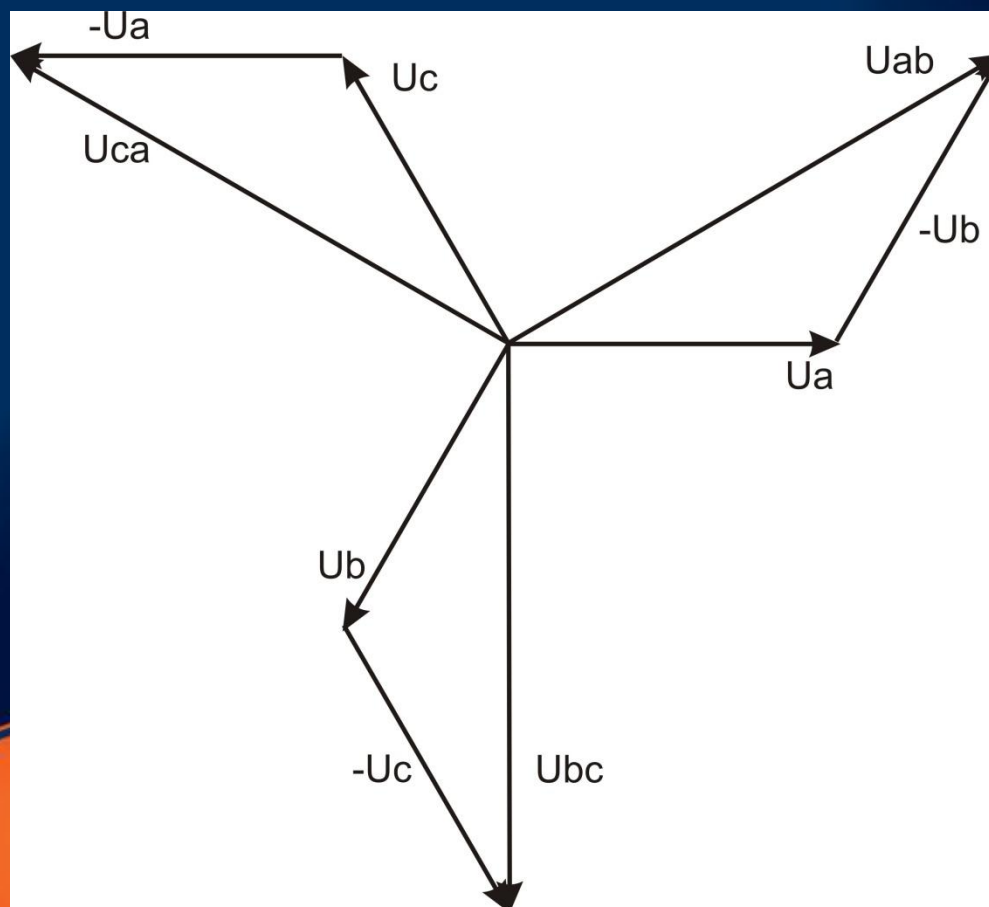


## 6. Построим векторную диаграмму токов и напряжений

а. построим фазные напряжения, равные по величине (модулю) **219 В**, но сдвинутые по фазе на  **$120^\circ$**  относительно друг друга; при этом  $U_a$  располагаем по действительной оси;



а. построим линейные напряжения  $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$ ;  $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C$ ;  
 $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$ ; ( $\dot{U}_L = 380 \text{ В}$ )



в. построим токи  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C, \dot{I}_0$ ;

